

⑫

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑰ Anmeldenummer: 84115798.5

⑥① Int. Cl.⁴: **H 02 P 8/00**

⑲ Anmeldetag: 19.12.84

③① Priorität: 07.02.84 DE 3404127

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.08.85 Patentblatt 85/33...

④④ Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

⑦① Anmelder: Gerhard Berger GmbH & Co. KG
Breslauer Strasse 7
D-7630 Lahr(DE)

⑦② Erfinder: Richter, Ludwig
Schulstrasse 27
D-7831 Rheinhessen(DE)

⑦③ Erfinder: Siefert, Werner
Bahnhofstrasse 33
D-7831 Kippenheim(DE)

⑦④ Erfinder: Kleis, Hans-Jörg
Im Egert 1
D-7630 Lahr 17(DE)

⑦⑤ Vertreter: Schmitt, Hans, Dipl.-Ing. et al,
Dreikönigstrasse 13
D-7800 Freiburg(DE)

⑥④ Steuerschaltung für einen Schrittmotor.

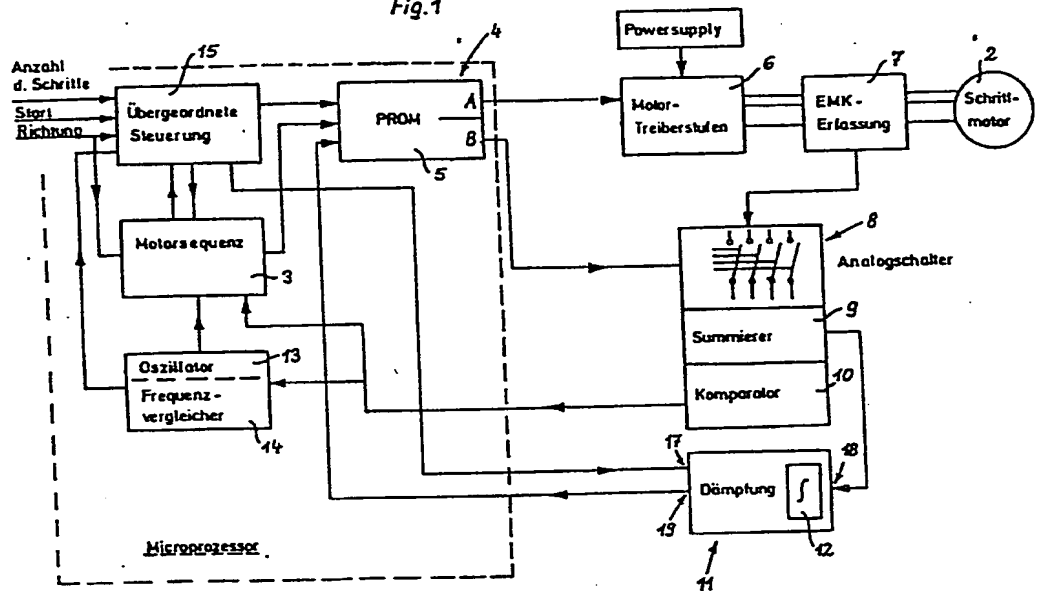
⑤⑦ Eine Steuerschaltung (1) (Fig 1) für einen selbstsynchron (closed loop) betriebenen Schrittmotor (2) weist zur Positionserkennung des Rotors eine insbesondere schaltungstechnisch einfach aufgebaute EMK-Erfassung (7) auf, die für jede Phase des Motors ein EMK-Signal sowie ein davon abgeleitetes, invertiertes EMK-Signal liefert. Diese Signale können durch eine EMK-Auswahleinrichtung (8) mit nachgeschaltetem Summierer (9) wahlweise einzeln oder in Kombination zum Weiterschalten des Statorfeldes herangezogen werden.

Durch Summen- bzw. Differenzbildung von EMK-Signalen durch den Summierer (9) und Zuordnung jeweils zu einem Erregungszustand können auch Halbschrittpositionen erkannt bzw. es kann der dynamische Lastwinkel in Halbschritten variiert werden, so daß im wesentlichen eine feinere Regelung möglich ist. Zusätzlich besteht dadurch auch die Möglichkeit der Erfassung der Rotorendstellung sowie eines Überschwingmaximums, wobei diese Meßpunkte für gezielte Dämpfungsmaßnahmen verwendet werden können.

EP 0 151 296 A2

/...

Fig. 1



PATENTANWÄLTE
DIPL-ING. H. SCHMITT
DIPL-ING. W. MAUCHER

78 FREIBURG I. BR.
DREIKÖNIGSTR. 18
TELEFON: (0761) 70773

18. Dez. 1984

0151296

1 Firma
Gerhard Berger GmbH & Co.KG
Breslauer Str. 7
7630 Lahr

5

UNSERE ARBEIT - MITTE STETS ANGEHEN!

E 84 583 MR

10

Steuerschaltung für einen Schrittmotor

15 Die Erfindung betrifft eine Steuerschaltung für einen
Schrittmotor mit wenigstens zwei Phasen und spannungs-
induzierendem Rotor, die eine Ansteuerschaltung zum
selbstsynchronisierten Betrieb des Motors aufweist, wo-
bei diese Ansteuerschaltung einen Zähler mit einer an-
20 geschlossenen logischen Schaltung zur Ansteuerung der
einzelnen Phasen-Schalstufen des Motors sowie in einer
Regelkreis-Rückführung angeordnet eine EMK-Erfassung mit
einer EMK-Auswahleinrichtung zur Umschaltung auf unter-
schiedliche, den jeweiligen Phasen zugeordnete EMK-Span-
25 nungskurven sowie einen Impulsformer aufweist.

Solche bekannten Steuerschaltungen für den selbstsynchro-
nisierten Betrieb eines Schrittmotors ergeben u. a. den
wesentlichen Vorteil, daß die vorhandene Motordynamik
30 wesentlich besser ausgenützt werden kann, wohingegen bei
in einer offenen Steuerkette betriebenen Schrittmotor die
Schrittfolge so gewählt werden muß, daß der Synchronismus
zwischen Rotor- und Statorfeld mit Sicherheit nicht ver-
loren geht. Diese Sicherheit bedeutet aber eine Minderung
35 der Betriebsdynamik. Insbesondere bei Lastschwankungen

Mr/H

/2

1 muß ein ausreichender Sicherheitsabstand zur optimalen
Hochlauf- bzw. Verzögerungssequenz eingehalten werden.
In der Regel liegt die Maximalfrequenz, die der Schrittmotor in einer offenen Steuerkette erreicht um ein Vielfaches (z. B. Faktor 8 bis 10) unterhalb der Frequenz, die der Motor aufgrund seiner Dynamik erreichen könnte.
5 Dagegen wird beim selbstsynchronisierten Betrieb das Rotorfeld mit dem Statorfeld synchronisiert, wobei das Statorfeld in Abhängigkeit des Rotorfeldes bzw. der Rotorstellung weiterschaltet. Dazu ist jedoch die Erfassung der Rotorposition erforderlich.
10 Beispielsweise sind externe Rotor-Positionserfassungsgeräte bekannt, die auf dem optischen Meßprinzip basieren, wobei Linien einer Strichscheibe ausdekodiert werden.
15 Solche Systeme liefern zwar ein Meßsignal mit hoher Stör-
unempfindlichkeit und sind auch unabhängig vom Schrittmotor selbst; dagegen ist nachteilig, daß ein hoher
Kostenaufwand, zusätzlicher Platzbedarf und insbesondere auch die notwendige Justierung zwischen magnetischer Rotorstellung und Encodersignal erforderlich sind. Ins-
20 besondere bei Motoren mit kleinen Schrittwinkeln ist dieser Einstellvorgang sehr problematisch.
Weiterhin kennt man zur Rotor-Positionserfassung die Auswertung der Motor-EMK. Es ist bekannt, daß im Signal der
25 Motor-EMK alle Informationen enthalten sind, die zur genauen Erkennung der magnetischen Rotorstellung benötigt werden. Die EMK ist eine periodische Funktion mit der Periodendauer T_p entsprechend der Rotorzahnteilung und hat im allgemeinen einen nahezu sinusförmigen Verlauf.
30 Die EMK-Spannung und das Haltemoment jeder Motorphase sind phasengleich.
Zur Erzeugung eines umlaufenden Statorfeldes müssen die Motorphasen zyklisch umgeschaltet werden, damit zu jedem Zeitpunkt das abgegebene Motormoment das gleiche Vor-
35 zeichen behält. Dies kann mit Hilfe der EMK-Spannungen

- 1 erfolgen, wobei deren Nulldurchgang jeweils zum Umschal-
ten herangezogen wird. Man unterscheidet bei der EMK-Er-
fassung die sogenannte direkte Methode und die indirekte
Methode. Bei der direkten Methode, bei der die Spannung
5 über einer Motorwicklung gemessen wird, ist insbesondere
nachteilig, daß eine sichere Erkennung des Nulldurch-
ganges nur bei geringen Motorfrequenzen möglich ist und
daß darüber hinaus eine Einschränkung des dynamischen Mo-
tormomentes vorhanden ist.
- 10 Bei der indirekten Methode werden die vorgenannten Nach-
teile vermieden. Die Phasen-EMK wird dabei aus einer ana-
logon Phasennachbildung gemäß der Gleichung
- $$U_{EMK} = iR + L \frac{di}{dt} - u$$
- gewonnen.
- 15 Bei bisher bekannten Regelschaltungen mit EMK-Erfassung
wird eine Zuordnung von einzelnen EMK-Kurven zu dem je-
weiligen Erregungszustand getroffen. Die EMK-Auswahlein-
richtung schaltet dabei kontinuierlich nach jedem Puls
weiter, wobei sich die Bezeichnung der EMK-Kurven mit 1
20 und 2 bzw. -1 und -2 z. B. eine Folge +1, +2, -1, -2, +1
usw. ergibt. Soll nun der dynamische Lastwinkel verän-
dert werden, so kann in bekannter Weise der Erregungszu-
stand durch sogenannte Pulsinjektion verändert werden.
Dies bedeutet jedoch eine schlagartige Änderung des
25 Schaltwinkels um einen ganzen Schritt. Mit dem Schalt-
puls, der sonst an dieser Stelle angesetzt wird, würde
sich eine Änderung des dynamischen Lastwinkels um zwei
Vollschritte ergeben. Die daraus resultierenden starken
Momentenänderungen können zu Störungen führen bzw. die
30 Effektivität der Schaltung mindern. Es ist deshalb auch
schon für einen weicheren Übergang eine Zeitverzögerung
für den Schaltpuls vorgesehen worden, die jedoch den
schaltungstechnischen Aufwand weiter erhöht. Problema-
tisch ist diese Zeitverzögerung insbesondere auch dann,
85 wenn sich die Motorfrequenz (Drehzahl) ändert, weil dann

1 entsprechend auch die Zeitverzögerung kontinuierlich ge-
nau mitverändert werden muß. Bei der vorerwähnten Puls-
injektion wird durch einen Zusatzimpuls ein EMK-Null-
durchgang simuliert, so daß entsprechend diesem Impuls
5 früher auf einen nächsten Erregungszustang umgeschaltet
wird. Um zu vermeiden, daß der zulässige Lastwinkel da-
bei überschritten wird, kann dieser Zusatzimpuls durch
die Zeitverzögerung verzögert werden. Bei Verwendung von
"Pulsinjektion" ist auch dafür Sorge zu tragen, daß der
10 bzw. die zusätzlichen Impulse während eines Verfahrzyklus
zur exakten Ausführung einer vorgegebenen Schrittzahl
mitberücksichtigt werden, um Positionsfehler zu vermei-
den.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Steuer-
schaltung der eingangs erwähnten Art zu schaffen, die bei
insgesamt vergleichsweise geringem, insbesondere schal-
tungstechnischem Aufwand auch im Falle, wenn mit maximal
möglichem Moment beschleunigt oder verzögert werden soll,
20 eine feine Regelung des dynamischen Motormomentes ermög-
licht. Dabei soll auch eine höhere Funktionssicherheit
erreicht und insbesondere sollen Schrittfehler sicher
vermieden werden. Weiterhin ist es Aufgabe der vorlie-
genden Erfindung, mit geringem Aufwand auch die Dämpfung
25 zur Verkürzung der Ausschwingdauer bei Erreichen der ge-
wünschten Endposition zu verbessern.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird einerseits erfindungsge-
mäß vorgeschlagen, daß die EMK-Auswahleinrichtung Analog-
30 schalter zum wahlweise einzelnen oder kombinierten Durch-
schalten der EMK-Spannungen aufweist und daß zwischen den
Ausgängen der EMK-Auswahleinrichtung und dem Impulsformer
ein Summierer zur Bildung von Summen- bzw. Differenzkur-
ven aus den einzelnen EMK-Spannungskurven geschaltet ist,
35 so daß sowohl Halbschrittpositionen als auch Vollschritt-

1 positionen des Rotors Steuersignale bilden und zur Optimierung des Motormomentes von der Ansteuerschaltung auswertbar sind.

Somit ist die Möglichkeit gegeben, nicht nur wie bisher
5 aus den EMK-Signalen Vollschrirtpositionen anhand der Nulldurchgänge der EMK-Kurven zu erkennen, sondern insbesondere durch den Summierer können nun aus den EMK-Summen- bzw. Differenzkurven auch Halbschrittpositionen erkannt werden. Dadurch ist bei geringem Aufwand eine
10 feine Regelung möglich, wobei eine Pulszeitverzögerung hier nicht erforderlich ist. Darüber hinaus stehen praktisch ohne zusätzlichen Aufwand auch bei der Endposition über die Nulldurchgänge einer EMK-Summen- bzw. Differenzkurve sowohl der Zeitpunkt des Erreichens der Position
15 als auch der Zeitpunkt des ersten Überschwingmaximums für gezielte Dämpfungsmaßnahmen zur Verfügung.

Zur indirekten EMK-Erfassung, wobei ein der Gleichung

$$U_{EMK} = iR + L \frac{di}{dt} - U$$

20 entsprechendes Netzwerk als Erfassungsschaltung verwendet wird, ist bereits eine Schaltung vorgeschlagen worden, die in aufwendiger Weise u. a. fünf OP-Verstärker aufweist. Neben dem dafür notwendigen Platzbedarf ist insbesondere auch nachteilig, daß hier die Signalabweichungen und daraus resultierende Störungen aufgrund von
25 Offset-Spannungen durch die Vielzahl von OP-Verstärkern hoch sind. Dies macht sich insbesondere auch bei kleineren Eingangsspannungen, wie sie bei niedrigeren Drehzahlen des Motors auftreten, nachteilig bemerkbar.

80 Erfindungsgemäß wird deshalb eine Steuerschaltung mit einer EMK-Erfassung vorgeschlagen, bei der das Netzwerk im wesentlichen durch eine analoge Rechenschaltung mit weniger als fünf OP-Verstärkern gebildet ist. Vorzugsweise ist dabei vorgesehen, daß die analoge Rechenschaltung mit nur einem OP-Verstärker gebildet ist, der als
85

1 Addier- bzw. Subtrahierverstärker mit differenzierendem
Pfad beschaltet ist und einen Spannungsmeßpfad ($1 \cdot R$),
einen Differenziationspfad mit Addition ($L \frac{di}{dt}$) sowie
einen Subtraktionspfad ($-U$) aufweist. Bei dieser Rechen-
5 schaltung ist der Aufwand wesentlich reduziert und
gleichzeitig ist vorteilhaft, daß die auftretenden Fehler
hier vernachlässigbar gering sind und das Meßergebnis
praktisch nicht verfälschen. Somit hat man trotz wesent-
10 lich reduziertem Aufwand günstigere elektrische Eigen-
schaften und damit auch eine entsprechende Ausgangsgröße
zur Verfügung, durch die ein unproblematischer, funk-
tionssicherer Betrieb möglich ist.

Nach einer Weiterbildung der Erfindung, für die selb-
15 ständiger Schutz beansprucht wird, ist eine Dämpfungss-
schaltung vorgesehen mit einem durch ein EMK-Signal ein-
und ausschaltbaren Integrator od. dgl. zur Erfassung des
Energieinhaltes bzw. einer proportionalen Größe davon
des Rotors, wobei diese Größe zur Einschaltung einer pro-
20 portionalen Dämpfung dient. Die dem Rotor-Energieinhalt
proportionale Größe kann in vorteilhafter Weise für ge-
zielte Dämpfungsmaßnahmen verwendet werden. Vorzugsweise
ist dabei vorgesehen, daß die Dämpfungsschaltung Steuer-
eingänge aufweist, einerseits zur Erfassung des vom Sum-
25 mierer gebildeten, in Phase mit dem Haltemoment liegen-
den EMK-Signal und andererseits zur Erkennung der letzten
Erregungszustands-Umschaltung innerhalb eines Verfah-
r Zyklus und daß ein Steuerausgang mit der logischen Schal-
tung bzw. dem PROM verbunden ist, zur Weiterschaltung des
30 Erregungszustandes auf einen dem letzten Erregungszustand
eines Verfahrszyklus folgenden Erregungszustand. Durch die
Möglichkeit der Bildung von Summen- bzw. Differenz-EMK-
Signalen kann der Haltemomentkurve eine phasengleiche
EMK-Kurve zugeordnet werden. Die Nulldurchgänge dieser
35 EMK-Kurve einerseits beim Überschreiten der Endposition

1 des Motorrotors und andererseits bei seinem ersten Über-
schwingmaximum, bilden genau definierte und durch die
erfindungsgemäße Schaltung auch erfaßbare Meßpunkte. Zu-
sätzlich steht außer der Information über die Rotorposi-
5 tion auch die Information über den Energieinhalt des Ro-
tors zur Verfügung. Zweckmäßigerweise ist der Integrator
durch die Nulldurchgänge der EMK-Spannung bzw. der EMK-
Summenspannung durch die Rotorendpositions-Achse ein-
und ausschaltbar, wobei der Integratorinhalt ein propor-
10 tionales Maß für den Energieinhalt des Rotors u. dgl.
bei der ersten Überschwingamplitude ist. Eine dem Ener-
gieinhalt der ersten Überschwingamplitude entsprechende
Größe erhält man durch einfache Integration mit den bei-
den EMK-Signal-Nulldurchgängen als Integrationsgrenzen,
15 so daß aufgrund dieser erfaßbaren Größe gezielte
Dämpfungsmaßnahmen ergriffen werden können.
Zusätzliche Ausgestaltungen der Erfindung sind in den
weiteren Unteransprüchen aufgeführt. Nachstehend ist die
Erfindung mit ihren wesentlichen Einzelheiten anhand der
20 Zeichnung noch näher erläutert.

Es zeigt:

- 25 Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Steuerschaltung für
einen Schrittmotor,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Rotors und
eines Stators eines Zweiphasen-Schrittmotors,
- 30 Fig. 3 die Kurvenverläufe von Motormomenten und zuge-
hörigen EMK-Spannungen,
- Fig. 4 ein vereinfachtes Blockschaltbild eines selbst-
synchron betriebenen Schrittmotors,
- 35

- 1 Fig. 5
und 6 Ausführungsformen von Schaltungen zur EMK-Er-
fassung,
- 5 Fig. 7 einen Verfahrenszyklus eines Schrittmotors,
- Fig. 8 den zeitlichen Verlauf der Momentenkurve mit
EMK-Spannungskurven bei niedrigen Drehzahlen
und hoher Momentabgabe,
- 10 Fig. 9 eine, etwa Fig. 8 entsprechende Darstellung,
hier jedoch mit dem Kurvenverlauf bzw. den Über-
gängen bei niedrigen, mittleren und hohen Dreh-
zahlen und jeweils maximaler Momentabgabe,
- 15 Fig. 10 den Kurvenverlauf des Motormomentes mit EMK-
Spannungskurven beim Übergang von hohen Dreh-
zahlen und maximaler positiver Momentabgabe zu
maximal negativer Momentabgabe,
- 20 Fig. 11 den Kurvenverlauf des Motormomentes bei jeweils
maximaler negativer Momentenabgabe bei hoher Ge-
schwindigkeit, bei mittlerer Geschwindigkeit und
bei niedriger Geschwindigkeit,
- 25 Fig. 12
und 13 unterschiedliche Übergangsphasen von positiver
auf negative Momentenabgabe,
- 30 Fig. 14 den Kurvenverlauf des Motorhaltemomentes mit
phasengleicher EMK-Spannungskurve im Bereich
der Endpositionier-Stellung,
- 35 Fig. 15 den Kurvenverlauf der Rotorposition sowie der
zugehörigen EMK-Spannungskurve während des Aus-

1 schwingvorganges und

Fig. 16 ein etwa Fig. 15 entsprechendes Diagramm, hier
jedoch mit zusätzlichem Kurvenverlauf der Rotor-
5 position bei aktiver Dämpfung.

Eine in Fig. 1 schematisch anhand eines Blockschaltbildes
gezeigte Steuerschaltung 1 dient zur Ansteuerung eines
Schrittmotors 2. Der Schrittmotor 2 wird hier selbstsyn-
10 chronisiert in einem Regelkreis betrieben, wobei das Sta-
torfeld des Motors in Abhängigkeit von der Rotorposition
weitergeschaltet wird. Dadurch wird ein solcher Schritt-
motor 2 in seinem dynamischen Verhalten etwa einem
Gleichstrommotor gleich.

15 Im wesentlichen ist eine Ansteuerschaltung mit einem
Zähler 3, einer angeschlossenen logischen Schaltung 4,
die hier als PROM 5 ausgebildet ist, sowie eine Phasen-
schaltstufe 6 vorgesehen. Weiterhin ist in einer Regel-
kreis-Rückführung eine EMK-Erfassung 7, eine EMK-Aus-
20 wahlenrichtung 8 mit einem angeschlossenen Summierer 9
sowie ein Impulsformer 10 angeordnet. Außerdem ist noch
ein eine Dämpfungsschaltung 11 mit Integrator 12 enthal-
tender Block, ein Oszillator 13 und ein Frequenzver-
gleicher 14 in einem weiteren Block und schließlich ein
25 Block für eine übergeordnete Steuerung 15 erkennbar.

Anhand der Fig. 2 bis 4 sei kurz die Arbeitsweise eines
Schrittmotors bzw. der Betrieb in einem selbstsynchronen
Regelkreis erläutert. Fig. 2 zeigt in schematischer Dar-
stellung einen Zweiphasen-Schrittmotor mit einer ersten
80 Phase I und einer zweiten Phase II. Der Schrittmotor
weist einen permanentmagnetischen Rotor 16 auf. In Fig. 3
sind die Motormomente $M_h I$ sowie $M_h II$ und die zugehörigen
EMK-Spannungskurven dargestellt. Gut zu erkennen ist
hier, daß die EMK-Spannungen ebenso wie die Haltemomente
35 einen etwa sinusförmigen Verlauf haben und phasengleich

1 sind. Die Motorphasen müssen jeweils im Nulldurchgang
der Motor-EMK-Spannungen umgeschaltet werden, damit zu
jedem Zeitpunkt das abgegebene Motormoment das gleiche
Vorzeichen behält. Der Lastwinkel einer Phase (elektri-
5 scher Phasenwinkel zwischen tatsächlicher Rotorstellung
und der stabilen Ruhelage) beträgt somit 180° el. Bei
einem Zwei-Phasen-Motor entspricht dies zwei Motor-
schritten bzw. Vollschritten. Bei dem Blockschaltbild
gemäß Fig. 4 wird der Schrittmotor 2 selbstsynchron be-
10 trieben. Dabei wird die Stellung des Rotors 16 über die
EMK-Spannung erfaßt und dann eine Rückmeldung an die
Sequenzschaltung 3 gegeben, wenn ein Nulldurchgang der
EMK-Spannung erfolgt. Erst dann wird durch die Sequenz-
schaltung auf einen nächst folgenden Erregungszustand
15 der Phasen weitergeschaltet. Fig. 8 zeigt einen Drehmo-
mentverlauf eines Zwei-Phasen-Motors bei zwei gleich-
zeitig erregten Phasen I und II, wenn die Weiterschalt-
ung jeweils im Nulldurchgang der EMK-Spannung erfolgt.
Die Betrachtung bezieht sich auf quasistationäre Vor-
20 gänge, d. h. bei unendlich kleiner Rotorgeschwindigkeit
oder bei vernachlässigbarer elektrischer Motorzeitkon-
stanten. Es sind hier die vier Erregungszustände +I+II
-I+II -I-II +I-II usw., die EMK-Spannungen 1, 2 beider
Phasen sowie deren Umkehrfunktionen -1, -2 dargestellt.
25 Gut zu erkennen ist hierbei, daß jeweils für die Um-
schaltung auf den nächsten Erregungszustand nacheinander
die EMK-Spannungen 1, 2, -1, -2 mit ihren Nulldurch-
gängen von positiv nach negativ verwendet werden. Nach
Durchlauf der bei dem betrachteten Zwei-Phasen-Motor für
30 eine Umdrehung vorhandenen vier Erregungszuständen er-
folgt zyklisch in gleicher Folge ein nächster Durchlauf.
Entsprechendes gilt für die zur Umschaltung jeweils her-
angezogenen EMK-Spannungen.

35 Anhand des Blockschaltbildes gemäß Fig. 1 wird nachfol-

- 1 gend ein Regelkreisdurchlauf beschrieben. Zum besseren
Verständnis sind die wesentlichen Funktionen der einzel-
nen Blöcke 3 bis 15 kurz beschrieben.
- 5 Zähler 3: Dieser kann aus einem Modulo 4 Vor-Rückwärts-
zähler (Ringzähler) bestehen, der nacheinander das PROM 5
zum Weiterschalten auf einen nächsten Erregungszustand
ansteuert.
- 10 Logische Schaltung 4 bzw. PROM 5: Im PROM ist der Zusammen-
hang zwischen den Bestromungszuständen (Erregungszu-
ständen) des Motors und der EMK-Auswahl für die ver-
schiedenen Betriebszustände abgelegt. Im vorliegenden
Falle eines Zwei-Phasen-Motors sind somit vier Erregungs-
zustände sowie acht EMK-Kurven abgelegt.
- 15 Phasenschaltstufe 6: Diese weist Motortreiberstufen auf,
mittels denen die Motorspulen nach dem jeweils gewünsch-
ten Erregungszustand bestromt werden.
- 20 EMK-Erfassung 7: Die EMK-Spannungen enthalten die Infor-
mationen über Position und Geschwindigkeit des Rotors.
Sie werden über die EMK-Erfassung 7 gemessen und zwar
jede Phase getrennt. Zusätzlich werden die gewonnenen
Signale negiert, so daß bei einem Zwei-Phasen-Motor vier
Ausgangssignale als EMK-Spannungskurven zur Verfügung
stehen.
- 25 EMK-Auswahleinrichtung: Diese weist im wesentlichen vier
Analogschalter zum Durchschalten von einem oder mehreren
der von der EMK-Erfassung 7 kommenden vier Ausgangssig-
nalen auf. Die Ansteuerung erfolgt von dem PROM 5.
- 30 Summierer 9: Hier können sowohl Summen als auch Diffe-
renzsignale aus EMK-Spannungskurven gebildet werden.
- 80 Impulsformer 10: Dieser weist im wesentlichen einen Kom-
parator auf; der den jeweiligen Nulldurchgang des vom
Summierer kommenden EMK-Signales von positiv nach nega-
tiv dekodiert. Bei diesem Nulldurchgang wird ein Puls an
die Motor-Sequenz-Schaltung (Zähler 3) weitergegeben.
- 85 Dämpfung 11 mit Integrator 12: Hier erfolgt eine Erken-

1 nung der momentanen Motorposition und ein Auswerten der
Überschwingamplitude über die Endpositionierstellung.
Oszillator 13, Frequenzvergleichler 14: Beim Bremsvorgang
wird die Motorfrequenz mit einer fest vorgegebenen Fre-
5 quenz verglichen und beim Unterschreiten dieser Frequenz
wird vom selbstsynchronen (closed loop) Betrieb in den
gesteuerten Betrieb umgeschaltet. Der Oszillator 13 er-
zeugt dann die Frequenz, mit der der Motor die verblei-
benden Schritte zur Gesamtschrittzahl zurücklegt, wobei
10 diese Frequenz kleiner ist als die maximale Stopfrequenz.
Übergeordnete Steuerung 15: Hier erfolgt die Ausgabe des
Startpulses, Zählen der Motorschritte und Vergleich mit
der Gesamtschrittzahl, Berechnung des Bremspunktes, Um-
schaltung vom closed loop-Betrieb auf gesteuerten Betrieb
15 beim Bremsvorgang. Außerdem wird von dieser Übergeordne-
ten Steuerung 15 das PROM 5 für die verschiedenen Be-
triebszustände des Motors - Beschleunigen, Bremsen, kon-
stante Frequenz, Dämpfen bei Rechts- und Linkslauf - ad-
ressiert.

20 Für den vorgesehenen Regelkreis-Durchlauf wird zunächst
davon ausgegangen, daß sich der Motor bereits kontinuier-
lich im selbstsynchronen Betrieb dreht. Als Einstieg in
den Kreis werden die Ausgänge A des PROM's 5 betrachtet.
25 Sie liefern die Information, welchen Erregungszustand die
Motorphasen einnehmen sollen und geben diese an die Pha-
senschaltstufe 6 mit ihren Motortreiberstufen weiter.
Aufgrund der EMK-Spannungen werden die Phasenströme modu-
liert. Mit Hilfe der EMK-Erfassung werden die EMK-Span-
30 nungen jeder einzelnen Phase erfaßt. Somit stehen zu-
nächst zwei EMK-Spannungsverläufe zur Verfügung. Diese
werden jeweils negiert, so daß insgesamt vier EMK-Signale
bei der EMK-Auswahleinrichtung anstehen. Durch die EMK-
Auswahleinrichtung 8 kann dann durch die Analogschalter
35 eine oder in Kombination auch mehrere dieser EMK-Spannun-

- 1 gen durchgeschaltet werden. Bei Kombination von zwei
EMK-Spannungen hat man einschließlich der vier Einzel-
EMK-Spannungen dann acht Variationsmöglichkeiten zur
5 Verfügung. Welches ENK-Signal oder welche EMK-Signale
an den Summierer 9 weitergegeben werden, hängt von der
Information des PROM-Ausganges B ab. Die Informationen
an den PROM-Ausgängen A und B stehen für die weitere Be-
trachtung zunächst in fester Zuordnung. Die acht vorge-
10 nannten EMK-Spannungskurven sind nachfolgend mit 1, 2,
-1, -2, 1 2, 2-1, -1-2, -2 1 bezeichnet. Die entspre-
chenden Kurven stehen nach dem Summierer - bei entspre-
chender Stellung der Analogschalter der EMK-Auswahlein-
richtung 8 - zur Verfügung. Der nachfolgende Impulsformer
15 10 dekodiert mit seinem Komparator den Nulldurchgang
von positiv nach negativ an die Motorsequenz-Schaltung
weiter. Dem Zählerstand dieses Zählers 3 entsprechend
wird dann die Adresse des PROM's um eins erhöht. Dadurch
wird der nächste Erregungszustand an den Ausgängen A
(z. B. von +I+II nach -I+II - vgl. Fig. 8) und der
20 nächste Schalterzustand für eine andere EMK-Auswahl (z.
B. von 1 auf 2) angelegt. Der Motor hat somit einen
Schritt ausgeführt. Der Regelkreis-Durchlauf beginnt dann
von neuem.
- 25 Durch die Möglichkeit zur Bildung von Summen- bzw. Diffe-
renzkurven mit Hilfe des Summierers 9 können auch Posi-
tionen zwischen den Einzel-EMK-Nulldurchgängen ausdeko-
diert werden, so daß der Schaltwinkel auch in Halbschrit-
ten verändert werden kann.
- 30 Fig. 7 zeigt in einem Diagramm einen Verfahrenszyklus, der
mit der erfindungsgemäßen Steuerschaltung ausgeführt wer-
den kann. Soll der Motor eine Positionierung von Punkt A
nach Punkt B durchführen, so muß er beschleunigt und ver-
zögert werden.
- 35 Aus den Teilzyklen ergeben sich die Aufgaben, die die

- 1 Sequenzschaltung bzw. die Steuerschaltung durchführen
muß. Der gesamte Verfahrenszyklus ist in folgende Teilbe-
reiche aufgeteilt:
- 1 Startmodus
 - 5 2 Beschleunigung und konstante Geschwindigkeit
 - 3 Umschaltung von Beschleunigungsmodus bzw. konstanter
Geschwindigkeit auf Verzögerung
 - 4 Verzögerung
 - 5 Umschaltung auf Stop-Frequenz
 - 10 6 Stop-Frequenz
 - 7 aktives Dämpfen
- Die zu den einzelnen Abschnitten des Verfahrenszyklus gehö-
renden Momentenkurven und EMK-Spannungskurven sind in
den Figuren 8 bis 16 dargestellt. Fig. 8 zeigt die sta-
15 tische Betrachtung des Startvorganges. Um den Motor zu
starten, ist ein manueller oder von einer externen
Steuerung kommender Startimpuls erforderlich. Durch die
übergeordnete Steuerung 15 werden dann Pulse erzeugt
(mindestens ein Puls), die über den Zähler 3 den Erre-
20 gungszustand des Motors 2 entsprechend weiterschalten.
Dadurch wird ein positives Moment erzeugt, das den Rotor
beschleunigt. Nach Vorgabe des Startimpulses werden alle
weiteren Pulse von der Steuerschaltung selbst erzeugt.
In den Figuren sind zur Verdeutlichung die jeweils wirk-
25 samen Momentenkurvenabschnitte M sowie die jeweils zuge-
ordneten EMK-Spannungskurven-Abschnitte E durch größere
Strichbreite hervorgehoben. In der in Fig. 8 und teil-
weise auch noch in Fig. 9 gezeigten Darstellung ist ein
Schaltwinkel vorgesehen, bei dem maximales positives Mo-
30 ment bei niedrigen Drehzahlen abgegeben wird. Die Zuord-
nung von Erregungszustand (PROM-Ausgang A) zu Analog-
schalterstellung (PROM-Ausgang B) ist für diesen Schalt-
winkel fest. Soll der Schaltwinkel geändert werden, z. B.
um bei mittleren Geschwindigkeiten eine maximale Moment-
35 abgabe zu erzielen, so muß die Zuordnung Erregungszustand

1 (z. B. -I+II) zur EMK-Auswahl (z. B. +2) geändert werden.
Fig. 9 zeigt die Vergrößerung des Schaltwinkels in Halb-
schritten, wodurch eine hohe Funktionssicherheit er-
reicht wird und Schrittfehler praktisch nicht auftreten
5 können. Die Vergrößerung des Schaltwinkels durch einen
Halbschritt erfolgt durch eine andere Zuordnung einer
EMK-Spannungskurve zu dem anstehenden Erregungszustand.
Gemäß Fig. 9 folgt auf den Erregungszustand -I+II der
Erregungszustand -I-II und die entsprechende Zuordnung
10 einer EMK-Spannungskurve (vgl. Fig. 8) wäre bei gleich-
bleibendem Schaltwinkel EMK-Spannung +2 und EMK-Spannung
-1. Gemäß Fig. 9 wird jedoch bei dem Erregungszustand
-I-II auf die EMK-Spannung -1+2 umgeschaltet, so daß sich
dementsprechend auch ein früherer Nulldurchgang dieser
15 EMK-Spannung ergibt. Die nachfolgende Zuordnung von Er-
regungszuständen und EMK-Spannungen ist dann wieder so
vorgesehen, daß sich Vollschriffe ergeben.

Im weiteren Verlauf des in Fig. 9 gezeigten Diagrammes
20 ist dann noch eine weitere Umschaltung auf einen anderen
Schaltwinkel gegeben, bei dem eine maximale Momentabgabe
bei hohen Geschwindigkeiten möglich ist. Dies geschieht
wiederum durch entsprechende andere Zuordnung von Erre-
gungszuständen und EMK-Spannungen.

25 Oberhalb des Diagrammes sind noch zwei Zeitachsen aufge-
tragen, in die entsprechend dem Diagramm die durch die
EMK-Nulldurchgänge erzeugten Schaltimpulse einerseits
und in der obersten Darstellung die zwei Impulse zum Um-
30 schalten auf andere Lastwinkel eingezeichnet sind. Die
Umschaltimpulse bzw. die Zuordnung der PROM-Ausgänge B
zu A werden von der übergeordneten Steuerung 15 gegeben.
Wann diese Steuerbefehle gesetzt werden, hängt von den
Motor- und Lastparametern sowie von der Frequenz ab. In
35 dem PROM 5 sind alle Möglichkeiten der Zuordnung zwischen

- 1 den bei dem hier betrachteten Motor vier Erregungszustän-
den sowie den acht EMK-Spannungskurven abgespeichert.
Aus dem Vorgenannten ist erkennbar, daß für ein optimales
Antriebsverhalten je nach Motorgeschwindigkeit die EMK-
5 Auswahl in Abhängigkeit des Erregungszustandes geändert
werden kann. Durch diese Maßnahme kann mit steigender
Motorfrequenz der Einfluß der elektrischen Motorzeitkon-
stanten auf den dynamischen Lastwinkel angepaßt werden.
Für geringere Motorfrequenzen und kleine Zeitkonstanten
10 kann ein Lastwinkel nach Fig. 8 gewählt werden, d. h.
zur Erkennung des Umschaltzeitpunktes kann der Nulldurch-
gang einer Einzel-EMK herangezogen werden. Für maximale
Anfangsbeschleunigung erfolgt somit die Motoransteuerung
nach dieser EMK-Auswahl. Mit steigender Motorfrequenz
15 wird dann auf die EMK-Auswahl nach Fig. 9 umgeschaltet.
Die Summen- und Differenzbildung von EMK-Spannungskurven
erlaubt dabei die Vergrößerung bzw. Verkleinerung des
dynamischen Lastwinkels in Halbschritten. Würde der dyna-
mische Lastwinkel schla rtig um einen Vollschrift ver-
20 ändert, so könnte dies sonst zu Störungen führen. Der
Beschleunigungsvorgang ist beendet, wenn Motormoment und
Lastmoment im Gleichgewicht sind oder wenn die Motorfre-
quenz durch externe Maßnahmen begrenzt wird.
- 25 Zum Umschalten von Beschleunigung bzw. konstanter Ge-
schwindigkeit auf Verzögerung bestehen zwei Möglichkei-
ten. Fig. 10 und 12 zeigen einen kontinuierlichen Über-
gang von Beschleunigung auf Verzögerung, was dadurch er-
reicht wird, daß nach dem Setzen des Verzögerungssignales
30 dem momentanen Erregungszustand (Fig. 10 - -I-II) eine
andere EMK - nämlich anstatt EMK +2, EMK -2 zugeordnet
wird.
- Eine andere Möglichkeit für eine dann schlagartige Um-
schaltung kann dadurch erreicht werden, daß der dem Ver-
35 zögerungssignal folgenden EMK-Spannungskurve ein anderer

- 1 Erregungszustand zugeordnet ist, wie dies in Fig. 13 ge-
zeigt ist. Gut zu erkennen ist hier, daß die jeweils ver-
wendeten EMK-Spannungskurven-Abschnitte kontinuierlich
weiterlaufen. Beide Umschaltmöglichkeiten können mit der
5 erfindungsgemäßen Steuerschaltung durchgeführt werden,
da die wahlweisen Zuordnungen über die übergeordnete
Steuerung 15 durch das PROM 5 vorgenommen werden können.

- In Fig. 10 schließt sich an den Übergangsbereich von Be-
10 schleunigung auf Verzögerung ein Bereich an, bei dem eine
maximale negative Momentenabgabe bei hohen Geschwindig-
keiten zum Bremsen erkennbar ist. Die Zuordnung zwischen
EMK und Erregungszustand ist im Verzögerungsmodus gegen-
über dem Beschleunigungsmodus üblicherweise um 180° el.
15 verschoben. In Fig. 11 schließen sich entsprechend Ab-
schnitte mit Momentenkurven an, bei denen entsprechend
der jeweiligen Morotdrehzahl auf andere Momentenabschnit-
te durch entsprechend andere Zuordnung zwischen jeweili-
gem Erregungszustand und EMK getroffen wird.
- 20 Es ist zu beachten, daß nach dem Verzögerungsmodus (4
in Fig. 7) die Schrittfrequenz kleiner bzw. gleich der
Stop-Frequenz ist, aus der innerhalb eines Schrittes der
Motor zum Stillstand kommen kann. Um dies auch bei
schwankenden Lasten zu gewährleisten, muß die Brems-
25 phase rechtzeitig eingeleitet werden. Damit der Antrieb
dennoch seine gewünschte Endposition (B) erreicht, müssen
bei Unterschreiten einer vorgegebenen Frequenz die rest-
lichen Motorschritte mit einer konstanten Frequenz ausge-
führt werden, die kleiner oder gleich der Stop-Frequenz
30 ist. Dieser Abschnitt ist in Fig. 7 mit 6 bezeichnet.
Um mit einem kontinuierlichen Übergang von Verzögerung
mit maximalem Moment zu einer konstanten Frequenz unter-
halb der Stop-Frequenz zu gelangen, muß der dynamische
Lastwinkel variiert werden, was wiederum durch Zuordnung
85 verschiedener EMK-Spannungen oder deren Summe bzw. Diffe-

- 1 renz möglich ist. Aufgrund der Stromanstiegszeitkonstan-
ten wäre der Motor sonst nicht in der Lage, das hohe ne-
gative Moment schnell genug abzubauen.
- 5 Aus Fig. 1 ist ersichtlich, daß die Dämpfungsschaltung 11
zwei Steuereingänge 17 und 18 aufweist, wobei der Steuer-
eingang 18 zur Erfassung des vom Summierer 9 gebildeten,
in Phase mit dem Haltemoment liegenden EMK-Signales und
der Steuereingang 17 zur Erkennung der letzten Erregungs-
10 zustands-Umschaltung innerhalb eines Verfahrzyklus die-
nen. Weiterhin ist ein Steuerausgang mit Verbindung zu
dem PROM 5 vorgesehen, mittels dem eine Weiterschaltung
des Erregungszustandes auf einen dem letzten Erregungs-
zustand eines Verfahrzyklus folgenden Erregungszustand
15 vorgenommen werden kann.

Die phasengleiche Zuordnung von Motormoment und EMK ist
ebenfalls durch die Möglichkeit gegeben, daß Summen bzw.
Differenzen aus den vorhandenen EMK-Spannungskurven durch
20 den Summierer 9 gebildet werden können. Es ergibt sich
dadurch praktisch ohne weiteren Aufwand die Möglichkeit,
gezielt Dämpfungsmaßnahmen zu treffen. Dazu kann aus dem
Signalverlauf der Motor-EMK neben der Information über
die Rotorposition auch die Information über den Energie-
25 inhalt des Rotors entnommen werden. Dies ist die Grund-
voraussetzung für die Einleitung geregelter, aktiver
Dämpfungsmaßnahmen. In Fig. 14 ist erkennbar, daß das
Motorhaltemoment (+I+II) in Phase mit einer EMK-Span-
nungskurve (+1+2) liegt. Durch diese phasengleiche Zuord-
30 nung läßt sich aus den EMK-Nulldurchgängen direkt auf die
Rotorposition schließen.

In Fig. 15 ist in einem Diagramm über einer Zeitachse t
als Ordinate die Rotorposition als Abszisse aufgetragen.
Die Zeitachse bildet gleichzeitig die Rotorendposition.
35 Während des Ausschwingvorganges pendelt der Rotor um die

1 stabile Ruhelage des Enderregungszustandes. Während des
Ausschwingvorganges hat das EMK-Signal (+1+2) die dop-
pelte Frequenz gegenüber der Schwingfrequenz des Rotors.
Der erste Nulldurchgang im Kreuzungspunkt der Koordinaten
5 entspricht der gewünschten Endstellung des Rotors. Beim
nächsten Nulldurchgang des EMK-Signales bei 20 hat der
Rotor sein erstes Überschwingmaximum erreicht. Es ist
hier gut erkennbar, daß einerseits über die Nulldurch-
gänge des EMK-Signales die Rotorposition erkennbar ist
10 und daß andererseits auch über den zeitlichen Abstand
zwischen erstem Nulldurchgang und dem Nulldurchgang bei
20 über eine einfache Integration des EMK-Signales auf
die Rotorenergie geschlossen werden kann. Im weiteren
Kurvenverlauf ist jeder zweite Nulldurchgang des EMK-
15 Signales mit der Rotor-Endposition identisch, während
die Nulldurchgänge dazwischen jeweils die Lage der Über-
schwingamplitude angeben. Durch die vorerwähnte Integra-
tion mit den beiden EMK-Signal-Nulldurchgängen als Inte-
grationsgrenzen, kann eine Größe gewonnen werden, die dem
20 Energiegehalt der ersten Überschwingamplitude proportio-
nal ist (vgl. schraffierten EMK-Kurvenabschnitt). Die da-
raus eingeleiteten Dämpfungsmaßnahmen können z. B. auch
nach dem bekannten Prinzip des "back phase damping" er-
folgen. In Fig. 16 ist der der Rotorstellung entspre-
25 chende Kurvenverlauf dargestellt, wenn gezielte Dämp-
fungsmaßnahmen ergriffen werden. Strichliniert ist der
Kurvenverlauf etwa entsprechend Fig. 15 dargestellt. Zur
Bildung einer Steuergröße für die gezielten Dämpfungs-
maßnahmen weist die Dämpfungsschaltung 11 einen Integra-
80 tor 12 auf. Der zwischen t_0 und t_1 aufintegrierte Inte-
gratorinhalt ist ein Maß dafür, für welchen Zeitabschnitt
gedämpft werden soll. In Fig. 16 ist der Enderregungszu-
stand mit X bezeichnet, während der nächstfolgende Er-
regungszustand, der ein Weiterdrehmoment erzeugt, mit
85 X+1 bezeichnet ist. Bei Erreichen des ersten Überschwing-

- 1 maximums des Rotors wird die Dämpfung durch Umschalten
auf den Erregungszustand $X+1$ für die Zeit t_i eingeschalt-
tet, wobei t_i ein proportionales Maß zum Integratorinhalt
darstellt. Durch diese gezielte Dämpfungsmaßnahme wird
5 der Ausschwingvorgang wesentlich abgekürzt, wie dies aus
der durchgezogenen, die Rotorstellung wiedergebenden
Kurve erkennbar ist.

- Die EMK-Erfassung 7 weist als Erfassungsschaltung ein
10 Netzwerk entsprechend der Gleichung $U_{EMK} = iR + L \frac{di}{dt} - U$
auf.

- Im Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 5 und 6 ist dieses
Netzwerk im wesentlichen durch eine analoge Rechenschalt-
15 tung mit nur einem Operationsverstärker gebildet. Dieser
ist als Addier- bzw. Subtrahierverstärker mit differen-
zierendem Pfad beschaltet. Er weist einen Spannungsmeß-
pfad 21 (iR), einen Differentiations-Pfad 22 mit Addi-
tion ($L \frac{di}{dt}$) sowie einen Subtraktions-Pfad 23 ($-U$) auf.
20 Für jede Motorphase ist eine solche Erfassungsschaltung
vorgesehen. Die Erfassungsschaltung ist jeweils an eine
Motorphase angeschlossen, wobei in Reihe mit jeder Mo-
torphasen-Wicklung (R_w, L_w) ein Vorwiderstand R_s geschal-
tet ist. Die Schaltung gemäß Fig. 5 zeigt eine besonders
25 einfache Ausführungsform einer Erfassungsschaltung, wobei
der Vorwiderstand einseitig an 0-Potential gelegt ist.
Dieser Meßpunkt ist mit A bezeichnet. Zwischen dem Vor-
widerstand und der Motorphasen-Wicklung befindet sich der
Meßpunkt B und am anderen Ende der Wicklung der Meßpunkt
30 C. Diese Schaltung ist beispielsweise für unipolar be-
triebene Schrittmotoren mit bifilarer Wicklung geeignet.
Über den Meßpfad 21, der an den Meßpunkt B angeschlossen
ist, wird die über dem Vorwiderstand R_s abfallende, dem
Phasenstrom i proportionale Spannung ($R_s \cdot i$) gemessen.
35 Über den Pfad 22 erfolgt eine Differentiation, bevor das

1 Signal der Addition zugeführt wird. Der Pfad 23 führt die Eingangsspannung der Subtraktion zu.

Fig. 6 zeigt eine abgewandelte Ausführungsform einer Erfassungsschaltung, die hier als Differenzschaltung ausgeführt ist. Es ist hier keine feste Potentialbeziehung zwischen den Meßpunkten A, B, C und dem Nullpotential notwendig. Auch hier kommt man mit einem einzigen Operationsverstärker OP aus.

Die Dimensionierung der Bewertungswiderstände R_1 , R'_1 , R_3 , R'_3 , und der Kondensatoren C_1 , C'_1 ist vom Verhältnis Vorwiderstand/Gesamtwiderstand und der Induktivität L_w abhängig. Die Widerstände R_2/R'_2 und die Kapazitäten C_0 , C'_0 dienen der Störunterdrückung und sind für die Funktion der Schaltung prinzipiell nicht notwendig. Sie sind deshalb strichliniert eingezeichnet.

Wie bereits in Verbindung mit Fig. 1 beschrieben, werden der EMK-Auswahleinrichtung 8 bei einem Zwei-Phasen-Motor vier EMK-Signale zugeführt. Dabei sind zwei Signale die den Motorphasen direkt zugeordneten EMK-Spannungen, während die anderen zwei Signale jeweils negierte bzw. um 180° phasenverschobene EMK-Spannungen sind. Man erreicht dies durch einen Inverter bzw. Umkehrverstärker 24, der am Ausgang 25 der einzelnen EMK-Erfassungsschaltung angeschlossen ist. Dies ist in Fig. 5 dargestellt. In gleicher Weise kann ein solcher Umkehrverstärker auch am Ausgang 25 der Erfassungsschaltung nach Fig. 6 angeschlossen sein.

Einschließlich der Inverter 24 kommt man bei einem Zwei-Phasen-Motor für die EMK-Erfassung mit vier Ausgangssignalen, mit einem einzigen integrierten Schaltkreis (4-fach Operationsverstärker) aus. Der Schaltungsaufwand und entsprechend auch der Platzbedarf sind dementsprechend gering. Erwähnt sei noch, daß grundsätzlich diese Erfassungsschaltung nicht auf Schrittmotoren begrenzt ist, sondern prinzipiell auch zur Erfassung jeder fremdindu-

1 zierten Spannung in einem induktiven Kreis verwendet
werden könnte.

Die Beschreibung des Ausführungsbeispieles stützte sich
im wesentlichen auf zwei-phasige hybride Schrittmotoren.

5 Analoges gilt jedoch auch für mehrphasige Schrittmotoren
und auch für die sogenannten Dosenmotoren. Die Endstufen
können dabei sowohl als bipolare Schaltung (Brücken-
schaltung) als auch als unipolare Endstufe ausgebildet
sein.

10 Schrittmotoren mit der erfindungsgemäßen Steuerschaltung
können beispielsweise bei Typenrad-Antrieben bei Schreib-
maschinen, Wagenantrieben bei Schreibautomaten für den
schnellen Wagenrücklauf, für Schreib-/Lesekopfantriebe
15 in Diskettenlaufwerken, bei Positionierantrieben, bei
denen größere Wegstrecken möglichst schnell zurückgelegt
werden sollen, für Spiegelverstellantriebe in optischen
Geräten, für Plotterantriebe u. dgl. eingesetzt werden.
Erwähnt sei noch, daß ein Großteil der Steuerschaltung 1
20 Inhalt eines Mikroprozessors sein kann, wie dies durch
die strichlinierte Umrandung des Zählers 3, des PROM's 5,
des Oszillators 13 mit Frequenzvergleicher 14 und der
übergeordneten Steuerung 15 angedeutet ist. Gegebenen-
falls können je nach "Kapazität" des Mikroprozessors
25 auch noch weitere Funktionsgruppen der übrigen Steuer-
schaltung integriert sein.

Alle in der Beschreibung, den Ansprüchen, der Zusammen-
fassung und der Zeichnung dargestellten Merkmale können
30 sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination mit-
einander erfindungswesentlich sein.

1 Firma
Gerhard Berger GmbH & Co. KG
Breslauer Str. 7
7630 Lahr

5

UNSERE ARBEIT - MITTE STEHTS ANGEREN!

E 84 583 MR

10

Steuerschaltung für einen Schrittmotor
Ansprüche

- 15 1. Steuerschaltung insbesondere für einen Schrittmotor
mit wenigstens zwei Phasen und spannungsinduzieren-
dem Rotor, die eine Ansteuerschaltung zum selbst-
synchronisierten Betrieb des Motors aufweist, wobei
diese Ansteuerschaltung einen Zähler mit einer ange-
schlossenen logischen Schaltung zur Ansteuerung der
20 einzelnen Phasen-Schaltstufen des Motors sowie in
einer Regelkreis-Rückführung angeordnet eine EMK-
Erfassung mit einer EMK-Auswahleinrichtung zur Um-
schaltung auf unterschiedliche, den jeweiligen Phasen
zugeordnete EMK-Spannungs-Kurven sowie einen Impuls-
25 former aufweist, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die EMK-Auswahleinrichtung (8)
Analogschalter zum wahlweise einzelnen oder kombi-
nierten Durchschalten der EMK-Spannungen aufweist und
30 daß zwischen den Ausgängen der EMK-Auswahleinrichtung
und dem Impulsformer ein Summierer (9) zur Bildung
von Summen- bzw. Differenzkurven aus den einzelnen
EMK-Spannungs-Kurven geschaltet ist, so daß sowohl
Halbschrittpositionen als auch Vollschrittpositionen
35 des Rotors (16) Steuersignale bilden und zur Optimie-

- 1 rung des Motormomentes von der Ansteuerschaltung
 auswertbar sind.
2. Steuerschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
5 zeichnet, daß die logische Schaltung (4) neben der
 Verbindung (A) zu den Phasenschaltstufen (6) einen
 Ausgang (B) zum Ansteuern der Analogschalter auf-
 weist, und daß die logische Schaltung (4) einen
10 Steuereingang zur internen Verknüpfung von einem
 der in ihr abgespeicherten möglichen Erregungszu-
 stände der Phasenwicklungen mit einem über den
 Steuereingang diesem Erregungszustand zugeordneten
 EMK-Auswahl hat.
- 15 3. Steuerschaltung nach Anspruch 2, dadurch gekenn-
 zeichnet, daß die logische Schaltung (4) als PROM
 (5) ausgebildet ist.
- 20 4. Steuerschaltung mit einer EMK-Erfassung, die ein der
 Gleichung $U_{EMK} = i \cdot R + L \frac{di}{dt} - U$ entsprechendes
 Netzwerk als Erfassungsschaltung aufweist, dadurch
 gekennzeichnet, daß das Netzwerk im wesentlichen
 durch eine analoge Rechenschaltung mit weniger als
 fünf Operationsverstärkern (OP) gebildet ist.
- 25 5. Steuerschaltung nach Anspruch 4, dadurch gekenn-
 zeichnet, daß das Netzwerk im wesentlichen durch
 eine analoge Rechenschaltung mit weniger als vier
 Operationsverstärkern (OP) gebildet ist.
- 30 6. Steuerschaltung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch ge-
 kennzeichnet, daß das Netzwerk im wesentlichen durch
 eine analoge Rechenschaltung mit weniger als drei
 Operationsverstärkern (OP) gebildet ist.

35

- 1 7. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, das
durch gekennzeichnet, daß das Netzwerk im wesent-
lichen durch eine analoge Rechenschaltung mit nur
5 einem Operationsverstärker (OP) gebildet ist, der
als Addier- bzw. Subtrahierverstärker mit differen-
zierendem Pfad beschaltet ist und einen Spannungs-
meßpfad (21) (iR), einen Differentiations-Pfad mit
Addition (22) ($L \frac{di}{dt}$) sowie einen Subtraktions-Pfad
10 (23) ($-U$) aufweist.
8. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß in Reihe mit jeder Mo-
torphasen-Wicklung ein Vorwiderstand (R_S) geschaltet
15 ist, daß zwischen Wicklung und Vorwiderstand (An-
schluß B) der Spannungsmeß-Pfad (21) zur Erfassung
des Phasenstromes und außerdem der Pfad (22) zur
Differentiation und Addition angeschlossen sind und
daß der Subtraktions-Pfad (23) an den dem Vorwider-
20 stand (R_S) abgewandten Ende (Anschluß C) der Motor-
phasen-Wicklung angeschlossen ist.
9. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß am Ausgang der Rechen-
25 schaltung für eine analoge EMK-Spannung ein Inverter
oder Umkehrverstärker (24) zur Bildung einer EMK-
Spannung mit gegenüber dem Eingangssignal negativem
Vorzeichen angeschlossen ist.
- 80 10. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, daß die EMK-Erfassungsein-
richtung (7) für jede Motorphase einen Ausgang für
eine der Motorphase zugeordnete EMK-Spannung und
einen weiteren Ausgang für eine negierte bzw. um
85 180° phasenverschobene EMK-Spannung aufweist und daß
diese Ausgänge mit der EMK-Auswahleinrichtung (8)

- 1 bzw. den Analogschaltern verbunden sind.
11. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß die analoge Rechen-
5 schaltung zur EMK-Erfassung als Differenzschaltung
ohne feste Potentialbeziehung zwischen den Meßpfad-
anschlußstellen und dem Nullpotential ausgebildet
ist.
- 10 12. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß die analoge Rechen-
schaltung zur EMK-Erfassung mit fester Potential-
beziehung zwischen den Meßpfadanschlußstellen und
dem Nullpotential ausgebildet ist, wobei der Vor-
15 widerstand (R_g) jeder Motorphasen-Wicklung einseitig
an Nullpotential liegt.
13. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß der an den Summierer
20 (9) angeschlossene Impulsformer (10) als Komparator
ausgebildet ist.
14. Steuerschaltung insbesondere nach einem der An-
sprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine
25 Dämpfungsschaltung (11) mit einem durch ein EMK-
Signal ein- und ausschaltbaren Integrator (12) od.
dgl. zur Erfassung des Energieinhaltes bzw. einer
proportionalen Größe davon des Rotors (16) vorge-
sehen ist und daß diese Größe zur Einschaltung einer
30 proportionalen Dämpfung dient.
15. Steuerschaltung nach Anspruch 14, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Dämpfungsschaltung (11) Steuer-
eingänge (18, 17) aufweist, einerseits zur Erfassung
35 des vom Summierer (9) gebildete, in Phase mit dem

- 1 Haltemoment liegenden EMK-Signales und andererseits
zur Erkennung der letzten Erregungszustands-Umschal-
tung innerhalb eines Verfahrzyklus und daß ein
5 Steuerausgang (19) mit der logischen Schaltung bzw.
dem PROM (5) verbunden ist zur Weiterschaltung des
Erregerzustandes auf einen dem letzten Erregungszu-
stand eines Verfahrzyklus folgenden Erregungszu-
stand.
- 10 16. Steuerschaltung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch
gekennzeichnet, daß der Integrator (12) durch die
Nulldurchgänge der EMK-Spannung bzw. der EMK-Summen-
Spannung durch die Rotorendpositions-Achse ein- und
ausschaltbar ist und das der Integratorinhalt ein
15 proportionales Maß für den Energiegehalt des Rotors
u. dgl. bei der ersten Überschwingamplitude ist.
- 20 17. Steuerschaltung nach einem der Ansprüche 14 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, daß entsprechend dem Inte-
gratorinhalt nach dem ersten Überschwingen über die
Rotorendlage zum Zeitpunkt der größten Überschwing-
amplitude eine Dämpfung, vorzugsweise durch Ein-
schalten des auf die Endposition folgenden, in Wei-
terdrehrichtung und somit entgegen der Rückschwing-
25 richtung wirkenden Erregungszustandes während einer
dem Integratorinhalt proportionalen Zeit vorgesehen
ist.

80

- Zusammenfassung -

85

Fig. 1

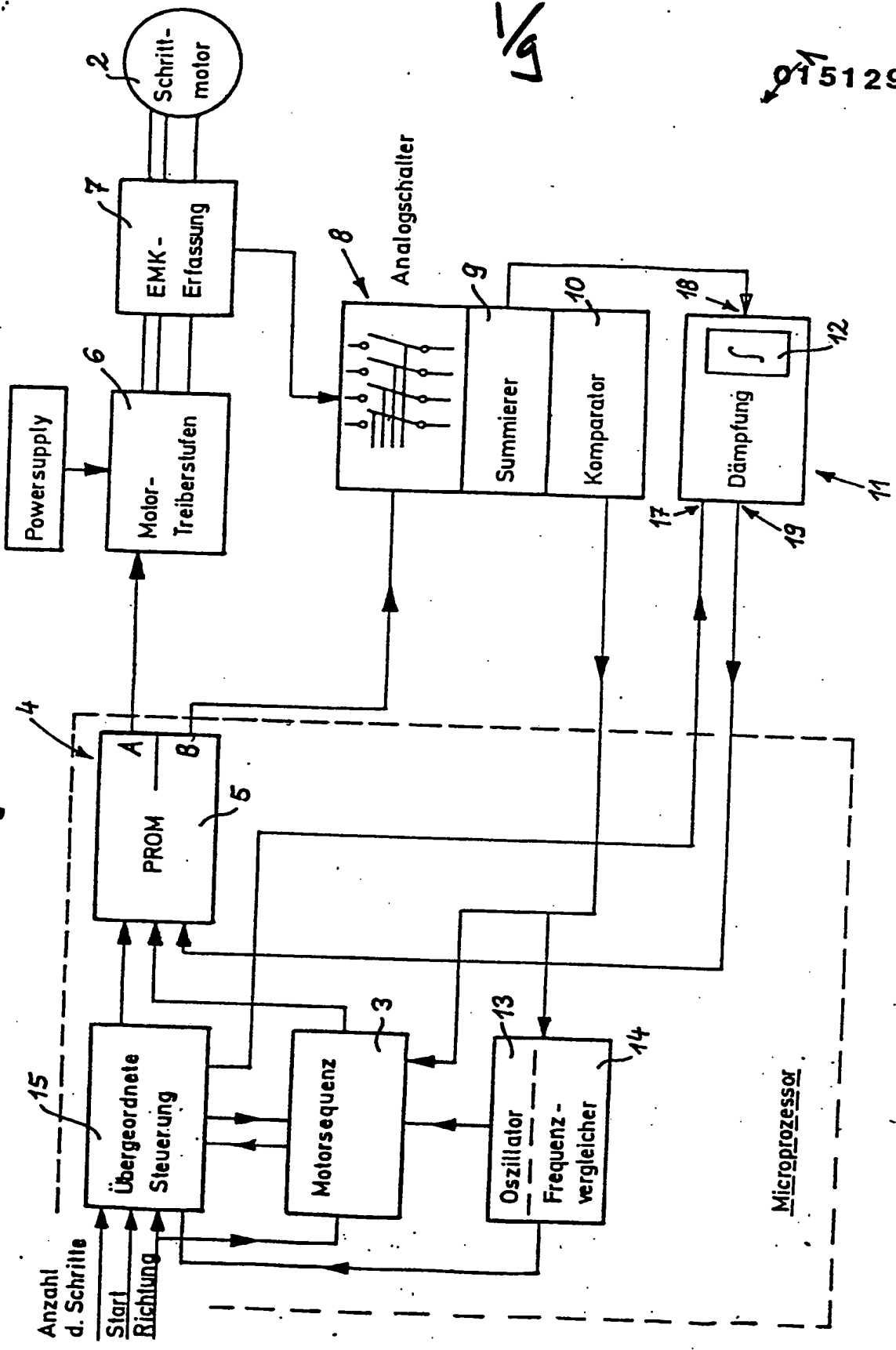


Fig. 2

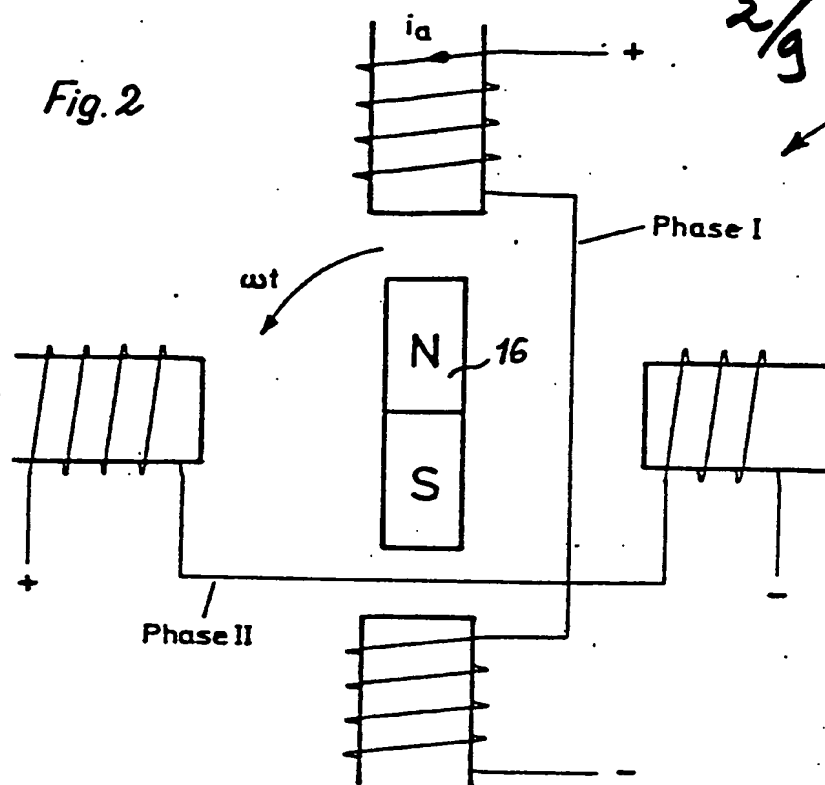


Fig. 3

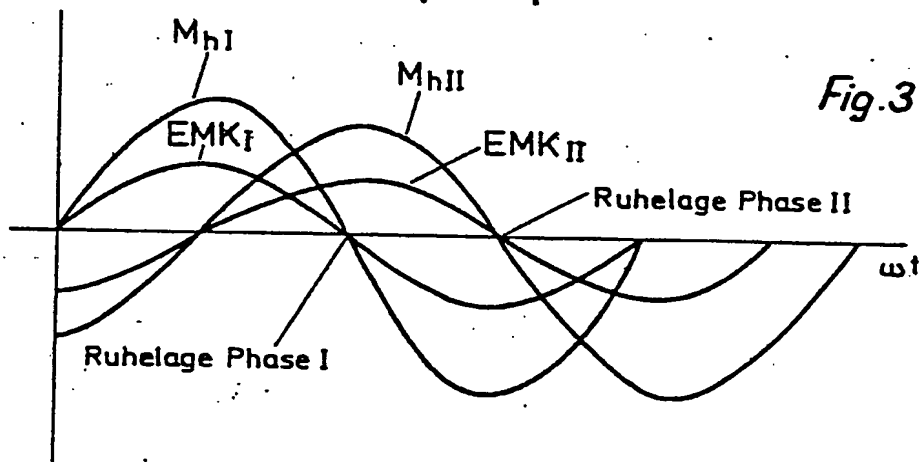
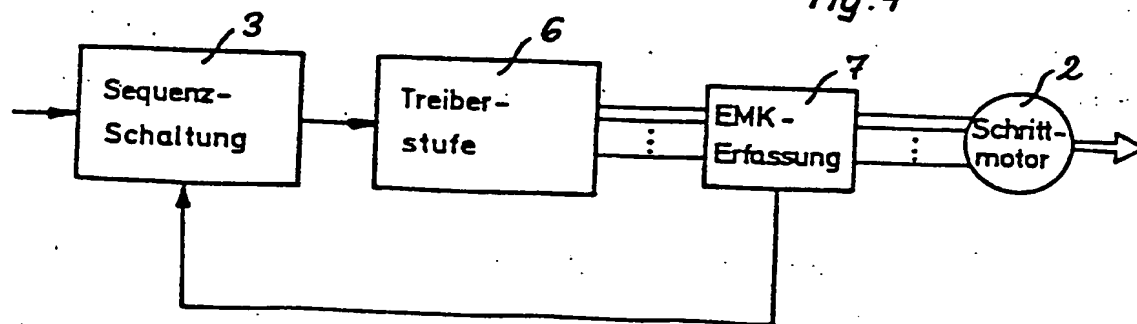


Fig. 4



0151296

Fig. 5 3/9

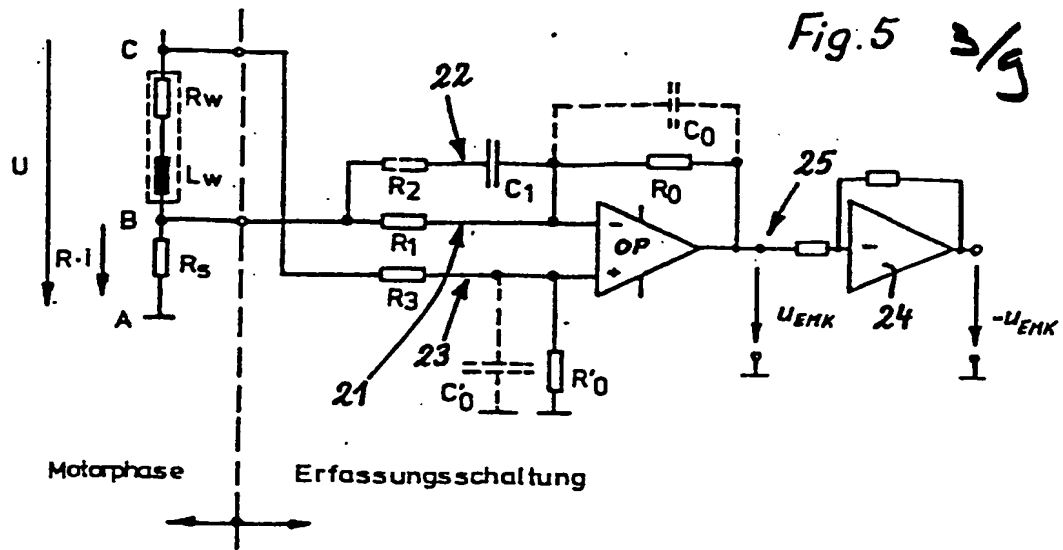


Fig. 6

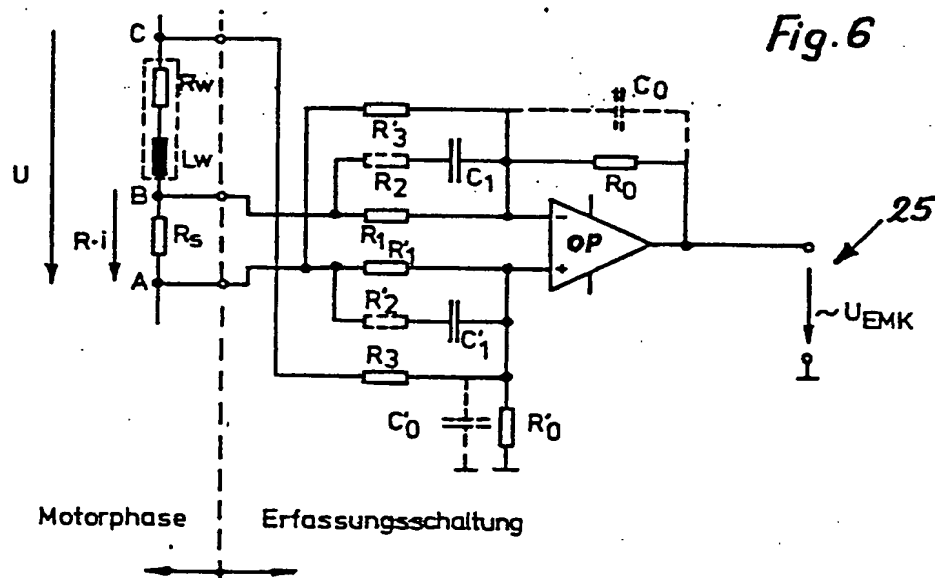
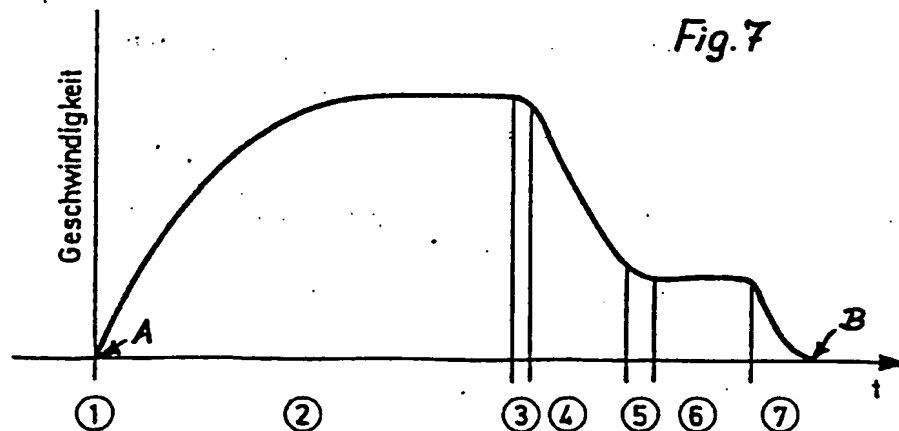


Fig. 7



4/9

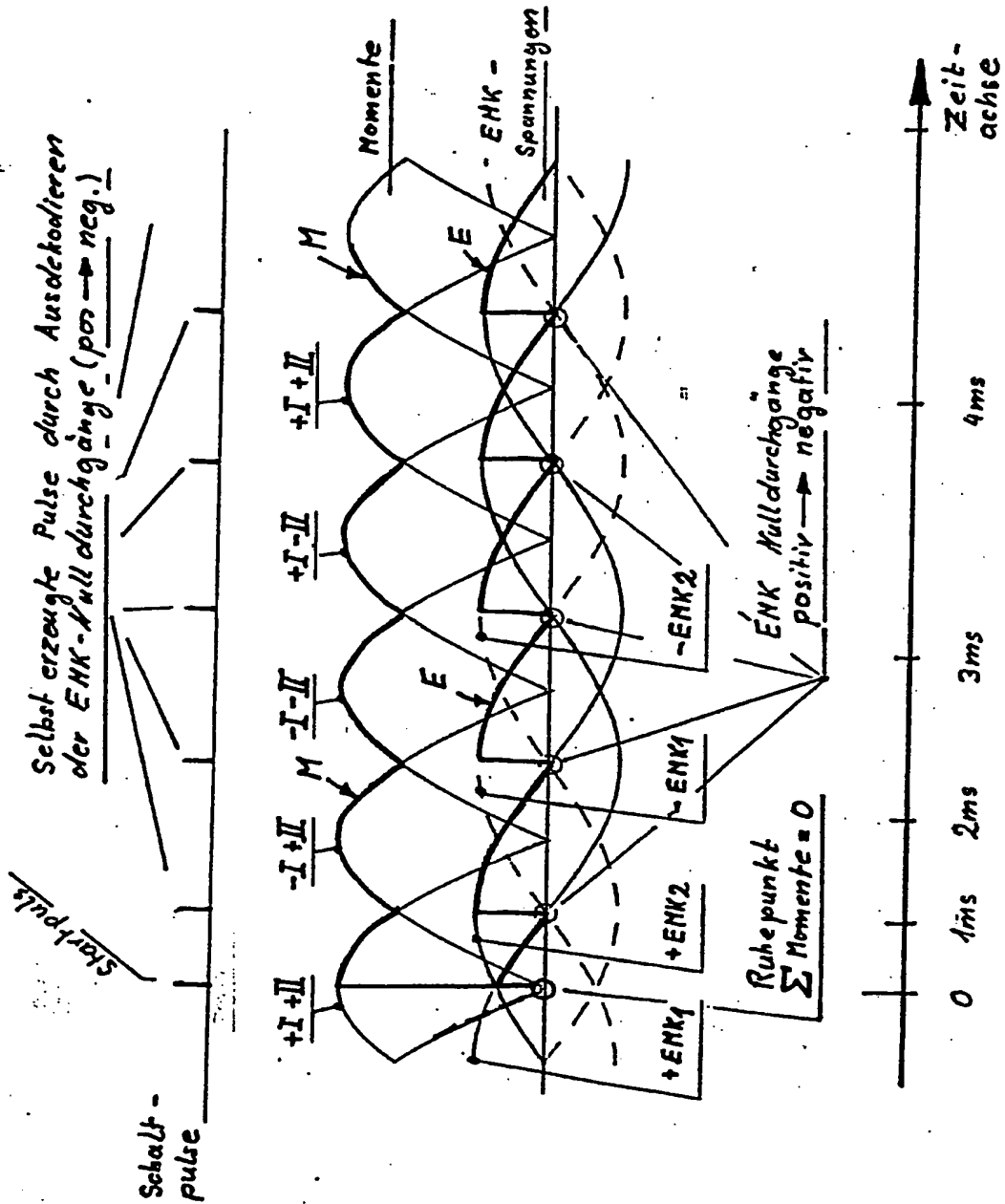


Fig. 8

5/9

0151298

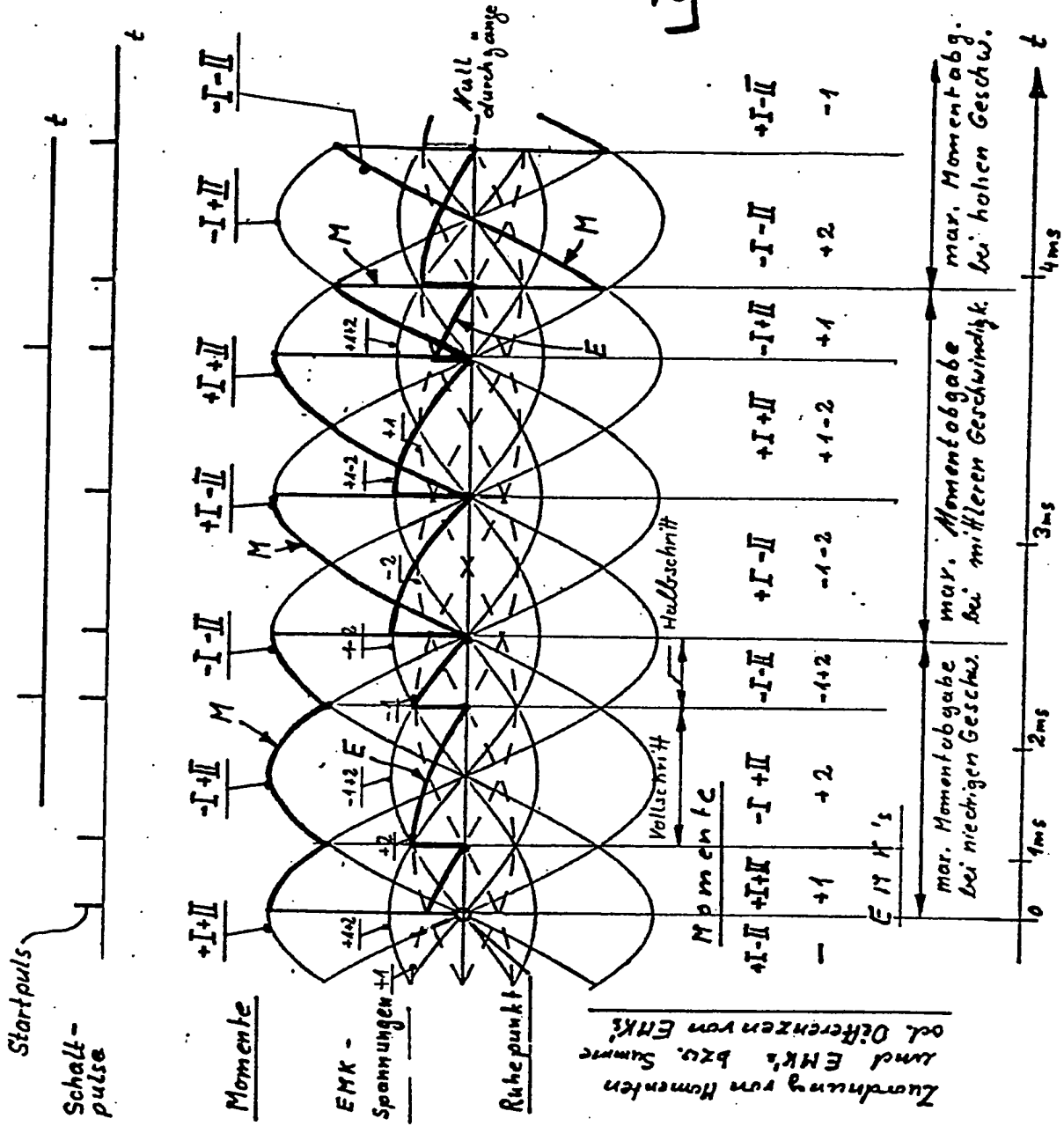


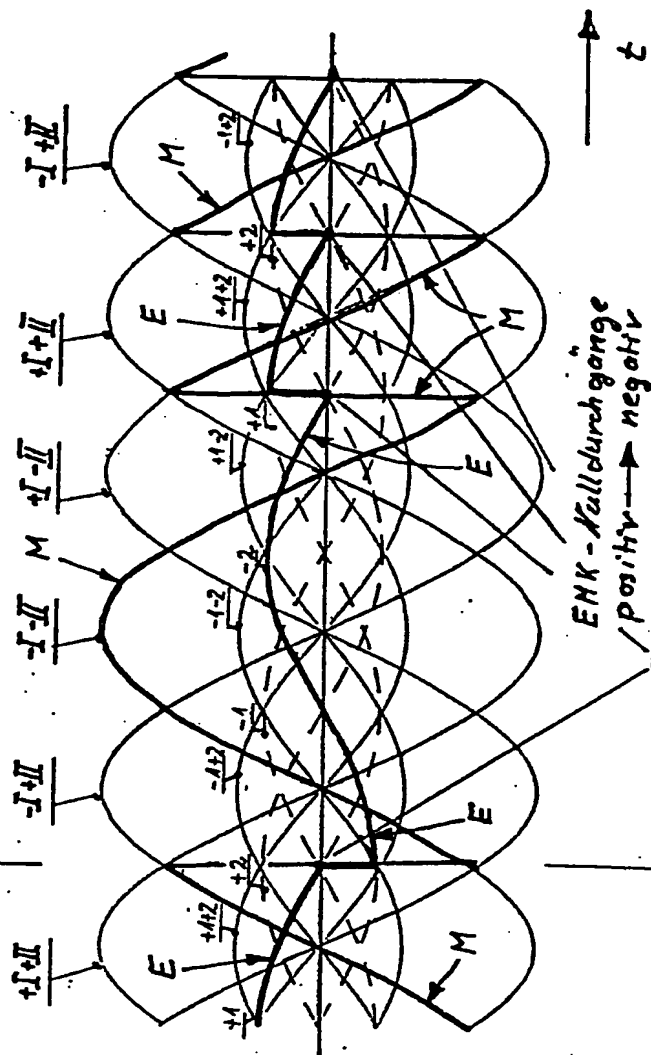
Fig.9

6/9

0151296

Verzögerungs-
signal

Fig. 10



max. pos. Momentenabgabe bei hohen Geschw.

Übergang von Beschleunigung od. konst. Geschw. auf Verzögerung

max. neg. Momentenabgabe bei hohen Geschwindigkeiten

Fluordnung

Momente $-I+II$
ENK's $+1$

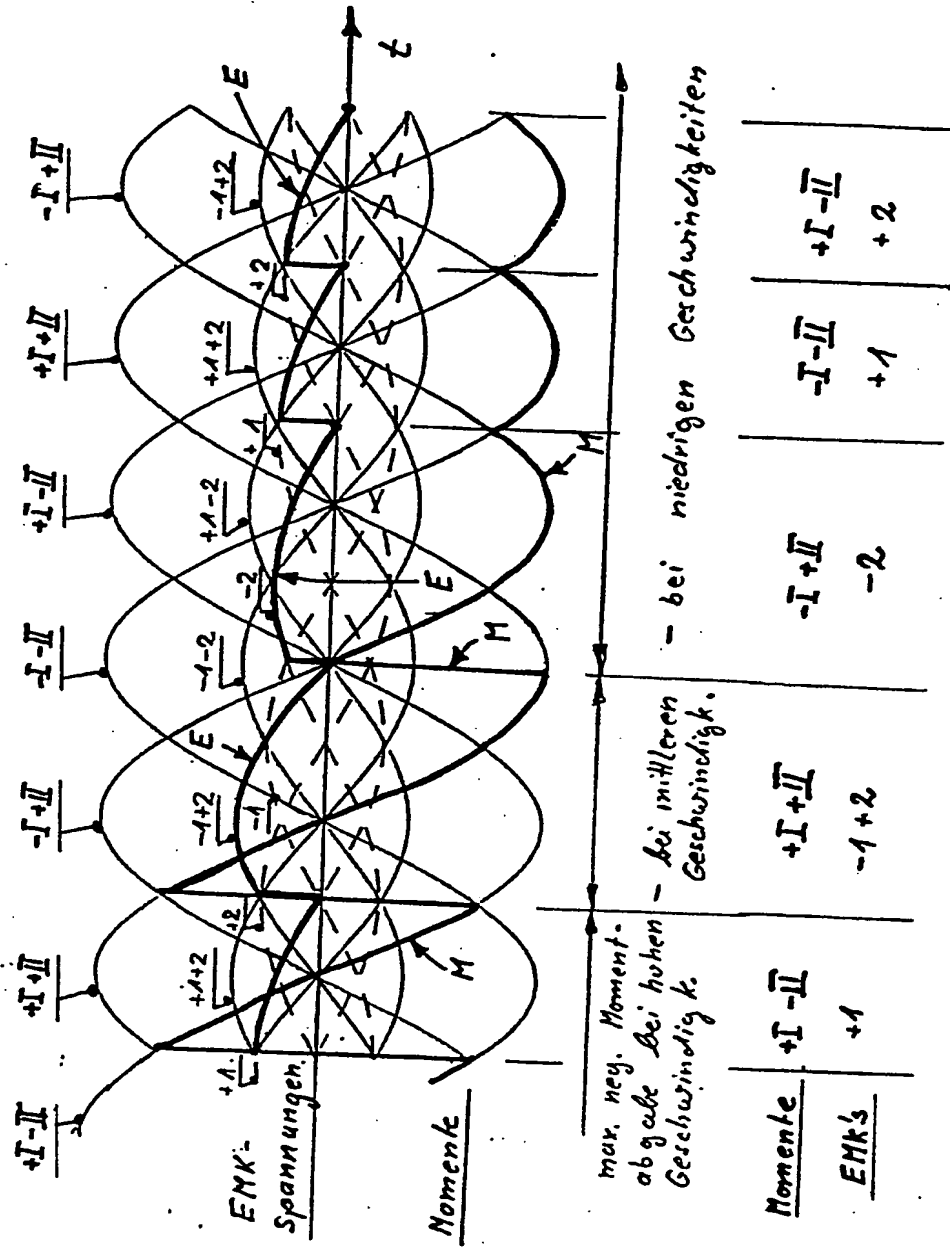
$-I-II$
 -2

$+I+II$
 $+1$

$-I+II$
 $+2$

7/9

Fig. 11



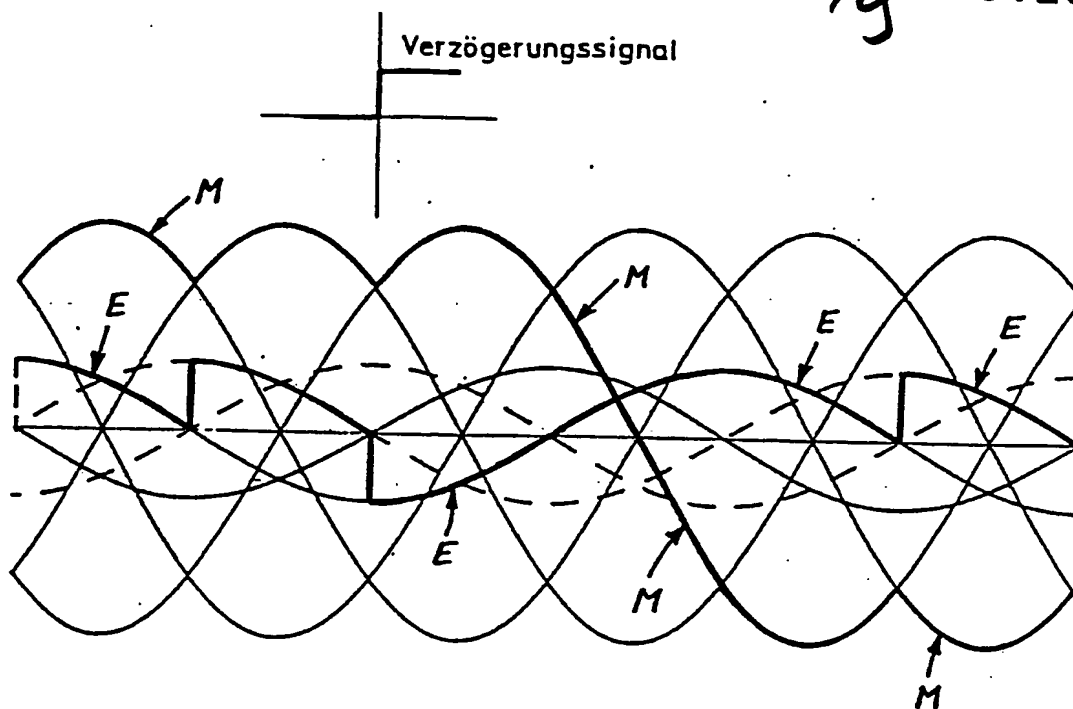


Fig. 12

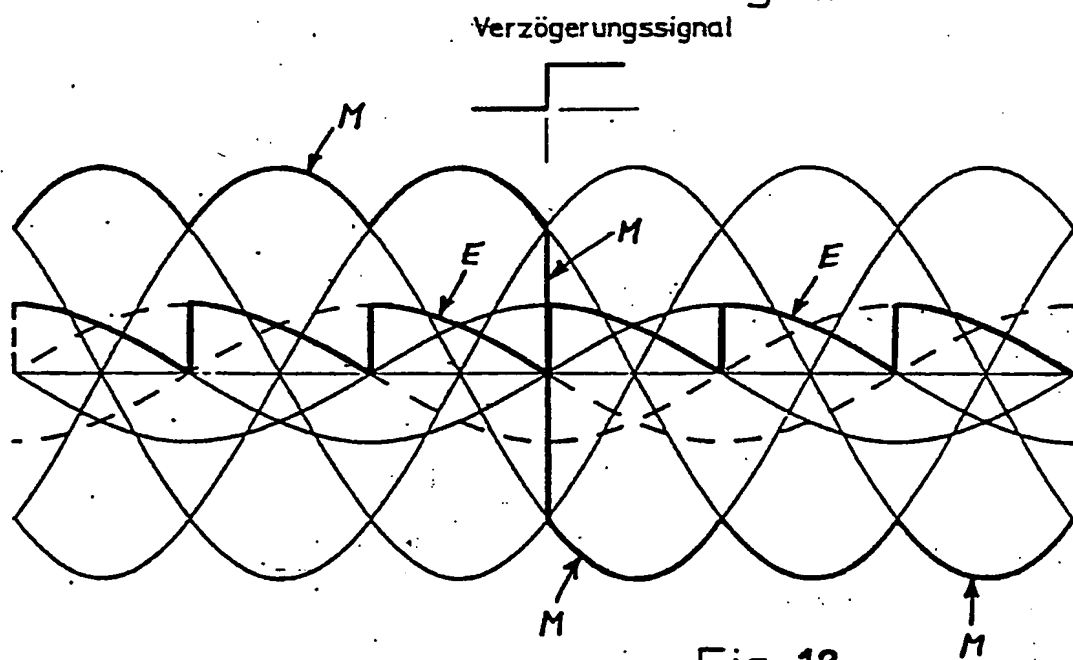


Fig. 13

0151298

9/9

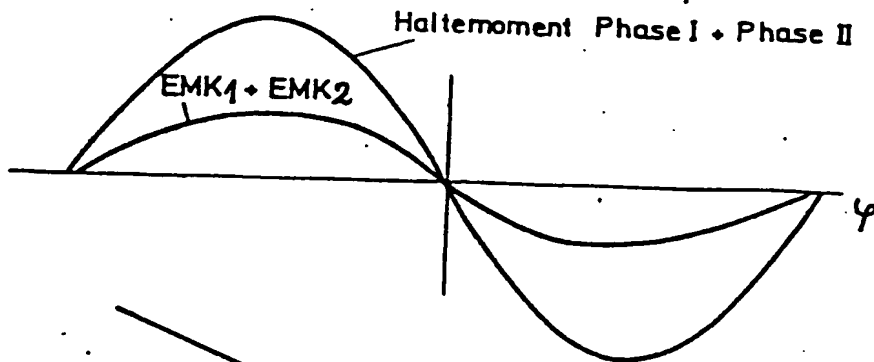


Fig. 14

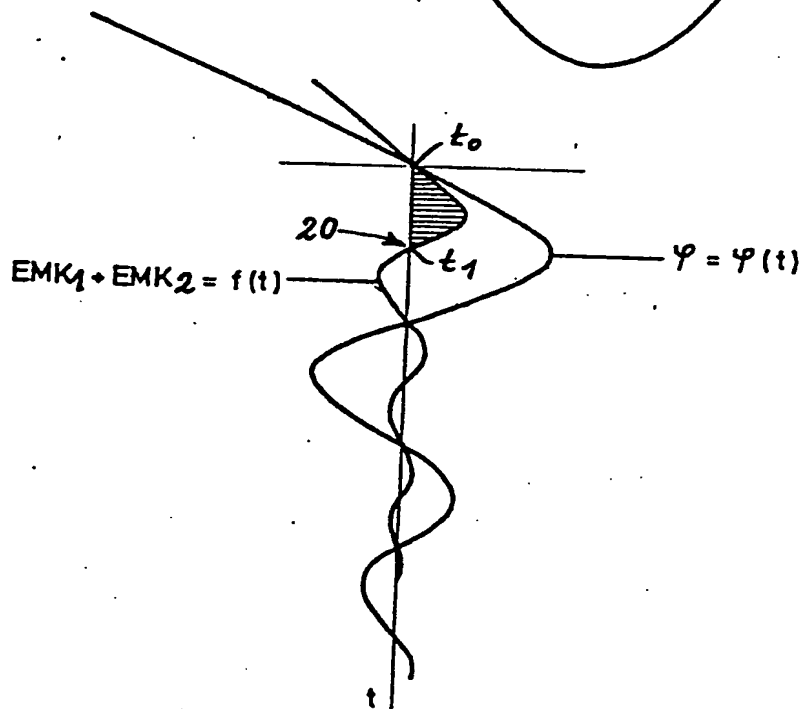


Fig. 15

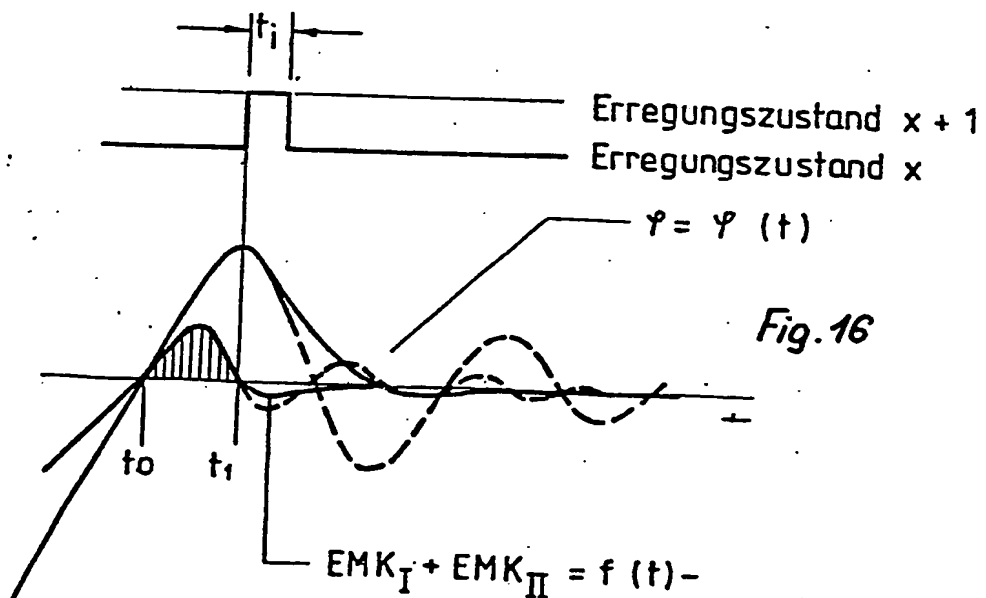


Fig. 16